

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук Копейкина Романа Евгеньевича на диссертацию Антонова Сергея Валерьевича «Разработка методов и алгоритмов автоматизированного контроля технологических процессов производства вафель на основе цифрового двойника», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 — «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Актуальность темы исследования

Диссертация Антонова С.В. посвящена актуальной проблеме контроля технологических процессов в пищевой промышленности. Применение современной технологии цифровых двойников является важным элементом в цифровизации отрасли в соответствии с программами развития современных производств. Тема диссертационного исследования особенно актуальна из-за необходимости повышения конкурентоспособности и эффективности производства, а также улучшения контролируемости качества продукции в условиях многорецептурного производства вафель. В современных условиях, когда цифровые технологии становятся неотъемлемой частью промышленности, исследования в данной области приобретают особое значение.

Задачи исследования

В работе решены следующие основные задачи.

1. Выполнен анализ существующих систем контроля технологических процессов и их классификация по объектам, компонентам и в соответствии с концепцией умного производства.
2. Разработан комплекс моделей, методов и алгоритмов автоматизированного контроля параметров и ресурсного обеспечения технологического процесса производства вафель в условиях многорецептурного пищевого производства.

3. Разработан комплекс структурно-параметрических и математических моделей основных стадий производства вафель и цифровой информационной модели системы автоматизированного контроля технологического процесса производства вафель на основе предложенной структуры цифрового двойника.

4. Разработана физическая модель базы данных параметров технологического процесса производства вафель и его ресурсного обеспечения, программных модулей системы контроля технологических процессов производства вафель и подсистемы поддержки принятия решений на базе SCADA-системы.

Структура диссертации

Структурно диссертация состоит из введения, трёх глав, выводов, заключения, словаря терминов, списка литературы и приложений.

Во введении изложена актуальность исследования, сформулирована цель и задачи исследования, выделены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сведения об апробации результатов работы и публикациях автора.

Первая глава посвящена теоретическим основам разработки информационных систем для контроля технологических процессов. В этой части работы Антонов С.В. рассматривает существующие подходы и методы, используемые в контроле производственных процессов, анализирует их преимущества и недостатки. Он детально описывает концепцию цифровых двойников и их применение в производственных системах, которые позволяют повысить точность и эффективность контроля. Особое внимание автор исследования уделяет актуальности разработки новых систем контроля технологических процессов для производства вафель, приводит существующие их аналоги и даёт описание действующего производства вафель.

Во второй главе определены требования к контролю технологических процессов в условиях многорецептурного пищевого производства и

выполнена оценка применимости данной концепции в таких условиях. Предложен метод автоматизированного контроля технологических процессов производства вафель, а также методы определения цифровых двойников, представления параметров, математические и структурно-параметрические модели рассматриваемого технологического процесса, необходимые для разработки системы поддержки принятия решений в следующей главе. Введено понятие жизненного цикла цифровых двойников, мониторинга технологических процессов и сущностей α -ЦД и β -ЦД, произведена корреляция жизненных циклов технологических процессов, цифровых двойников и партии изделий в виде графической модели связи.

Третья глава посвящена разработке модели информационной системы контроля технологических процессов производства вафель и результатам практической апробации разработанного метода автоматизированного контроля рассматриваемого технологического процесса. Модель информационной системы описана с использованием структурно-функционального и объектного подходов к моделированию, тем самым выполнено полноценное проектирование будущей информационной системы автоматизированного контроля технологических процессов производства вафель. В этой же главе предложены алгоритмы загрузки цифровых двойников в систему, а также ресурсного определения технологического процесса производства вафель и фиксации его параметров. Реализация предложенной системы контроля выполнена на базе SCADA-системы, создана архитектура подсистемы поддержки принятия решений, выполнена разработка модели базы данных, представлены примеры экранных форм.

В заключении приведены основные результаты диссертационного исследования, достигнутые в рамках данной работы.

В приложениях представлены акты внедрения результатов работы на производстве и в учебный процесс.

Научная новизна

Научная новизна работы Антонова С.В. заключается в разработке подхода к проектированию информационного обеспечения систем автоматизированного контроля технологического процесса на основе выполненного классификационного анализа научных работ, определившего тенденции развития методов контроля технологических процессов пищевого производства. В основе данного подхода лежит комплекс разработанных моделей, методик и алгоритмов, базирующихся на применении предложенных в работе двух типов цифровых двойников. Также научной новизной обладает разработанный в настоящем диссертационном исследовании комплекс структурно-функциональных и объектно-ориентированных моделей, обеспечивающих создание и внедрение в реальных производственных условиях информационной системы автоматизированного контроля технологических процессов производства вафель.

Соответствие паспорту специальности

Полученные в данном диссертационном исследовании результаты соответствуют паспорту специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» по её областям исследований: «2. Автоматизация контроля и испытаний», «8. Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления и их цифровых двойников», «11. Методы создания, эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая базы данных и методы их оптимизации, промышленный интернет вещей, облачные сервисы, удаленную диагностику и мониторинг технологического оборудования, информационное сопровождение жизненного цикла изделия», «12. Методы создания специального математического и программного обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и

обеспечивающих подсистем АСУ ТП, АСУП, АСТПП и др., включая управление исполнительными механизмами в реальном времени».

Практическая значимость

Практическая значимость работы подтверждается успешной апробацией предложенных решений на конкретных предприятиях пищевой промышленности и в решения системных интеграторов. Внедрение предложенного комплекса методов и алгоритмов контроля на основе цифрового двойника позволило не только улучшить контроль технологических процессов, но и сократить количество издержек. Особенно следует отметить, что предложенные методики могут быть адаптированы и применены к другим типам производств, что делает их универсальными и востребованными в различных отраслях промышленности. Кроме того, они могут быть применены для решения задач анализа данных для модернизации старых и построения новых производств, а также для использования предлагаемого комплекса для задач управления, например, как было показано в работе, для применения подсистемы поддержки принятия решений.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы, апробация и публикации

Достоверность и обоснованность полученных теоретических и практических результатов данного диссертационного исследования обеспечиваются применением в основе предлагаемых решений классических инструментов и подходов моделирования, анализа и синтеза комплекса методов, алгоритмов, моделей и архитектур информационных систем, подробным анализом исследуемого технологического процесса с прямой корреляцией с действующим реальным производством вафель.

Результаты исследования опубликованы в 11 работах автора, из них 5 — в журналах, входящих в перечень ВАК РФ, а также неоднократно обсуждались на 9 конференциях международного уровня.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации не в полной мере раскрыты вопросы интеграции предлагаемой информационной системы контроля технологических процессов производства вафель с другими системами АСУ ТП, АСУП, АСТПП, что скрывает из обозрения возможные проблемы при внедрении предлагаемого комплекса методов и алгоритмов на других предприятиях в том числе по производству вафель.

2. В работе не продемонстрированы выбор и применение протоколов для передачи данных от конкретных датчиков в SCADA-систему и в саму систему контроля технологического процесса производства вафель.

3. Таблица 11 на стр. 69 при сравнении существующих систем контроля технологических процессов содержит такие, как ХААСП и СМБПП, которые не являются информационными, поэтому возникают сомнения в справедливости их сопоставления с системами диспетчеризации и SCADA-системами.

4. Алгоритм создания α -ЦД на рисунке 36, стр. 136 и в тексте упоминается проверка последней версии двойника, но алгоритм формирования версий подробно не показан.

5. В словаре терминов на стр. 158 и в тексте диссертации на стр. 80 даётся определение цифрового двойника технологического процесса, которое отличается от того, которое утверждено в ГОСТ Р 57700.37-2021. Не совсем понятно, почему не используется то, которое принято.

Отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы автора.

Заключение

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертационная работа Антонова Сергея Валерьевича представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, направленную на решение актуальной научной задачи в области разработки методов и алгоритмов автоматизированного контроля технологических процессов производства вафель. Диссертация

характеризуется последовательным решением научных задач и достижением поставленной цели. Представленная научная работа соответствует пунктам 2, 8, 11 и 12 паспорта специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Диссертационная работа «Разработка методов и алгоритмов автоматизированного контроля технологических процессов производства вафель на основе цифрового двойника» соответствует требованиям п. 9-11, 13 и 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года. № 842 (ред. от 16.10.2024 г.), а её автор, Антонов Сергей Валерьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Официальный оппонент:

Копейкин Роман Евгеньевич



«10» ноября 2025 г.

кандидат технических наук,

доцент кафедры «Автономные информационные и управляющие системы»
факультета «Специальное Машиностроение»

научно-учебного комплекса «Специальное Машиностроение»

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский
университет)»

Почтовый адрес: РФ, 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1

Телефон: +7-917-528-06-12. E-mail: rkopeykin@bmstu.ru



«ВЕРНО»

СПЕЦИАЛИСТ ПО ПЕРСОНАЛУ
ПОВАЛЯЕВА И.О.

ОТДЕЛ ПО ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ
ЕДИНОЙ ПРИЁМНОЙ
УКСА
МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА